

調査報告

1978年宮城県沖地震の被害調査報告(概報)

Miyagi-ken-oki Earthquake of June 12, 1978 — Preliminary Report

久保慶三郎* ・岡田 恒男**・関 松太郎**・高梨 晃一*
 宇田川邦明****・龍岡 文夫*・田村重四郎**・柴田 碧***
 藤田 隆史***・半谷 裕彦*・後藤 博司*・松井 長行*
 片山 恒雄* (執筆順による)

Keizaburo KUBO, Tsuneo OKADA, Matsutaro SEKI, Koichi TAKANASHI
 Kuniaki UDAGAWA, Fumio TATSUOKA, Choshiro TAMURA, Heki SHIBATA
 Takafumi FUJITA, Yasuhiko HANGAI, Hiroshi GOTO, Nagayuki MATSUI and
 Tsuneo KATAYAMA

1978年6月12日午後5時14分頃、牡鹿半島沖約100kmを震央として発生したマグニチュード7.4の宮城県沖地震は、仙台市を中心とする宮城県のほか福島県・岩手県などで土木・建築その他各種の構造物や施設に大きな被害を与えた。この報告は、地震工学に関係する本所の各専門分野の研究者が行った宮城県沖地震の被害調査の結果を速報的にまとめたものである。

1. ま え が き

1978年宮城県沖地震の発生直後から、本所の地震工学の研究者はそれぞれの専門的な立場から数次にわたる被害調査を実施してきた。地震被害が人口60万をこえる近代都市仙台を中心に発生したため、被害の様相は多岐にわたっており、地震発生後2カ月しかたっていない現時点で、そのすべてにわたって十分な考察を加えることは不可能である。しかし、時として専門家の直観による第一印象が問題の本質をついていることもあると考え、不完全さを承知のうえでここに被害調査の第一報をまとめることとした。限られたページ数の中で、それぞれの筆者が異なった対象を異なった視点から論じており、対象のとらえ方や論述のスタイルは必ずしも統一されていない。本報告で指摘された問題のいくつかについては、さらに十分な検討を加えた後、別の機会に報告したいと考えている。

なお、本報告の執筆分担は以下のとおりである。

- | | |
|--------------------|----------------|
| 1. まえがき | 久保慶三郎 |
| 2. 地震の概要 | 久保慶三郎 |
| 3・1 鉄筋コンクリート造建物の被害 | 岡田 恒男
関 松太郎 |
| 3・2 鉄骨造建物の被害 | 高梨 晃一
宇田川邦明 |
| 4・1 地盤液状化・土構造物被害 | 龍岡 文夫 |
| 4・2 土木構造物の被害 | 田村重四郎 |
| 5・1 産業施設の被害 | 柴田 碧 |
| 5・2 危険物施設等の被害 | 藤田 隆史 |
| 6. 福島県における被害の概要 | 半谷 裕彦
後藤 博司 |
| 7. 都市供給施設の被害と復旧 | 松井 長行
片山 恒雄 |

2. 地震の概要

今回の地震の諸元は以下のとおりである。

発生年月日 昭和53年6月12日17時14分

* 東京大学生産技術研究所第5部
 ** " 第1部
 *** " 第2部
 **** 東京電機大学

マグニチュード $M = 7.4$
 震央の位置 東経 $142^{\circ} 10'$ 北緯 $38^{\circ} 09'$
 震源の深さ $h = 40$ km

各地の震度は以下のとおりである。

震度V.(強震) : 大船渡・仙台・石巻・新庄・福島
 震度IV.(中震) : 帯広・八戸・秋田・鷹巣・盛岡・

一関・宮古・山形・酒田・白河・小名浜・水戸
・宇都宮・熊谷・前橋・東京・伊豆大島・千葉
・銚子・館山・横浜

震度Ⅲ(弱震): 釧路・函館・根室・広尾・浦河・
青森・高田・軽井沢・河口湖・甲府・秩父・勝
浦・静岡・網代・三島

震度Ⅱ(軽震): 札幌・岩見沢・苫小牧・室蘭・新
潟・相川・長野・飯田・諏訪・名古屋・津・輪
島・彦根

震度Ⅰ(微震): 旭川・小樽・森・留萌・江差・網
走・松本・八丈島・三宅島・浜松・御前崎・敦
賀・豊岡・西郷

地震発生直後、東北地方から関東地方北部にかけて津

波警報が発令されたが、際立った津波はなく20時30分
解除された。また、同日17時5分頃には仙台で震度Ⅲ
を記録した前震が発生している。

今回の地震による強震計記録の大部分は震度Ⅳ以下の
地域におけるものであったが、構造物に被害が多発した
仙台市周辺でも5カ所でかなり良好な記録が得られた。
これらを総合すると、仙台から塩釜・石巻にかけての地
域では、地盤上の水平方向最大加速度は250～300ガル
程度であったと思われ、この付近では局地的に震度Ⅵ(烈
震)の地域が点在したと考えられる。

被害のほとんどは宮城県下に集中したが、宮城県分の
被害だけで、死者27名、住家全壊1,271戸、被害総額は
約2,600億円と報告されている。

3. 建築物の被害

3・1 鉄筋コンクリート造建物の被害*

3・1・1 ま え が き

1978年6月12日午後5時14分に発生した宮城県沖地
震により仙台市を中心として建築物にも被害が生じた。
筆者らは地震発生直後、仙台市に赴き、日ごろ研究テ
マとしている中低層鉄筋コンクリート造建物の被害調査
を行なった。今回の被害の特徴は「都市型災害」と言わ
れているように、被害地域が広範囲であることおよび、
被害の様相が多様化していることであった。したがって、
調査に当たっても、対象とする構造物および地域を限定す
る必要があるという点が現地での第一印象であった。

このため、筆者らの研究室では、中低層鉄筋コンク
リート造建物の被害の全般的調査と同時に、本学工学部建
築学科青山研究室および千葉大学工学部建築学科村上研
究室と合同で、仙台市および泉市の一部の学校建築約130
校の全数調査を行い、結果は速報としてすでに取りまと
めた。¹⁾

本報では、紙面の制限もあるので、中低層鉄筋コンク
リート造建物の被害の概況を述べて読者の参考に供した
と思う。

3・1・2 被害の特徴

地震被害は種々の角度から検討され、今後の耐震設計
の糧とされる必要があり、今回の被害も例外ではない。
詳細な検討は今後に待たねばならぬが、問題点を提起す
る意味も含めて、中低層鉄筋コンクリート造建物の被害
の特徴について現時点での筆者らの見解を若干列挙して
みたい。

(1) 破壊のパターン

今回観察された破壊のパターンのうち重要視されねば

* グラビア写真1～6を参照

ならないのは次の2種であると思われる。

A. 1階の柱が崩壊し、建物が倒壊したもの。

B. 柱にせん断きれつ、または、せん断破壊が生じた
もの。

写真1～5に代表的な例を示したが、Aの破壊パター
ンは、3、4階建て、耐震壁が1階にほとんどない、い
わゆるピロティ構造に見られた破壊形式である。おそら
く柱頭・柱脚の曲げ・せん断・軸方向力による複合破壊
により、過大な水平変位が生じて倒壊に至ったものと思
われる。

Bの破壊パターンは、学校校舎の桁行方向に見られた
もので、腰壁・たれ壁に拘束された北面の柱のせん断破
壊(写真3.5)のほか、中廊下形式の校舎の内部の柱にせん
断破壊の生じた例(写真4)も見られた。

(2) 耐震設計法との関連

個々の建物の被害原因については、まだ明らかではな
いが、一般的に言えば、設計の不備、施工不良、あるいは
地盤条件などによる地震動の局地的な増幅もしくはこれ
らの条件が複合したなどであることが予想される。これ
らのうち、ここでは耐震設計法と被害との関連につい
て述べておく。

鉄筋コンクリート造建物の耐震設計に関する法規およ
び関連規準は、1968年十勝沖地震における被害を契機と
して1971年に改正され現在に至っている。しかし、1971
年以前に建設された建物も現在なお多く使用されており、
その中には耐震性に劣るものも混っている可能性があり、
筆者らもそれら既存建物の耐震診断法の開発・普及に努
めている段階である²⁾。この観点から今回の被害を見ると、
被害建物のほとんどは1960年代に建設されたもので
あったことが特徴としてあげられよう。Aのパターンの
被害が集中して見られた仙台駅東部の御商団地周辺には

約 300 棟の建物があったが、それらのうち少なくとも 5 ～ 6 棟が取りこわされることとなっている。比率では 10 % 以下ではあったが、被害の可能性のある 1971 年以前の建物についての耐震診断と耐震補強を促進する必要が強く感じられた。

この点は B の破壊が多く観察された学校建築についても同様であった。仙台市内の公立学校のうちで中破以上の被害をうけた学校々舎の割合は 5 % 以下ではあったが、

3・2 鉄骨造建物の被害*

3・2・1 鉄骨造建物の倒壊

今回の地震においては、鉄骨造建物も多く被害をうけた。従来、鉄骨造建物の多数ある地域に、たまたま地震がなかったせいもあって、軽微な被害しか報告されていなかったが、今年 1 月の伊豆大島近海地震における東伊豆の被害につづいて、鉄筋コンクリート構造なみに、鉄骨造の建物が完全に倒壊するという大きな被害が再び出現した。その原因が鉄骨の工作や建方施工にある場合も多いのだが、これだけ多くの被害が生じ、かつまた、この程度の地震で倒壊することがあってはならないとするなら、鉄骨造建物の耐震設計をきびしく再検討しなければならない。設計の際に想定している地震入力の大きさは十分であるか、特に、筋違（すじかい）が十分に大きな強度、変形能力をもつよう設計されているか、柱・はり接合部など、複雑な接合部では、設計で想定しているような耐力を発揮できるように、工作・施工可能な詳細になっているか、床の自重、積載重量の不確定な変動が、十分吸収できるような大きさの設計重量を見込んでいるか等々、被害調査を通じて検討すべき項目は大変多いのである。以下は、被害の内容を検討し、主として、どういう問題点があるか列挙してみたい。

3・2・2 筋違構造の被害

鉄骨造建物の部材としては、最近では、H 形鋼が圧倒的に多く用いられている。それを柱に使用する場合は当然、柱弱軸方向の水平抵抗力が不足するので、それを筋違によって補う必要が生ずる。したがって、筋違は重要な耐震構造要素であるが、設計施工にあたってそれが十分に認識されてはならず一種の仕上げ材程度としか考えられていないものもあって、筋違構造の被害は圧倒的に多い。その原因は、接合部を含めて、筋違の強度不足、変形能力不足に求められる。

(1) 強度の不足

もちろん、これは、地震入力の大きさ、床重量の大きさに依存するものであるが、概して筋違断面が小さい。特に、接合部強度は極端に低いものが多い。接合部強度

それらのすべてが 1971 年以前の建物で、1968 年十勝沖地震の時の被害が再び繰返されたように思える。

現在我々が用いている耐震設計法とて決して十分なものではなく、改善が必要ではあるが、それにもまして、1960 年代以前に建設された建物の耐震診断・耐震補強が必要であることを痛感させられた地震被害であったことを最後に強調しておきたい。

は、使用されているボルトのせん断破壊強度、ボルト孔欠損控除後の有効断面積、はしあきの大きさ、ボルト配置のゲージ線と筋違断面の重心線との偏心によって生ずる付加曲げの大きさ、ガセットプレートの有効断面積、ガセットプレートと軸組部材との溶接強度によって決まる。被害の状態を調べると、これらの要素の 1 つないし 2 つの要素の強度あるいは断面積の不足が原因となって被害をうけたと推定されるものばかりであり、すべての破壊形態が出現しているといってもよい。たとえば、ボルト接合に、高力ボルトを用いず、品質の悪い普通ボルトを用いたため、ボルトが破断したり、ボルト孔欠損による有効断面の低下によって、ボルト孔付近で筋違材が破断した場合などである。ともかく、筋違断面、接合部強度を大きくして、地震力に十分耐えるような筋違構造を作るための検討を設計法、施工法の両面から行わなければならないだろう。

(2) 変形能力の不足

たとえ、水平力を筋違だけで負担するように設計された建物でも、筋違以外の柱・はり部材で構成されるラーメン構造は若干の水平力の負担が可能だから、もし、筋違構造の変形能力が十分で、ラーメン構造と協同して働くことが可能であれば、水平耐力に余裕が生ずるはずであるが、残念ながら、接合部強度不足などで、十分な変形能力がなく、現状の構造では協同作用は期待できない。そのため、まず、筋違構造が破断し、次に非常に水平耐力の小さいラーメン構造となって倒壊ないしは、損傷したと推定されるものが多い。

軽微な筋違構造に、よく丸鋼の筋違が用いられているが、丸鋼の材質や、接合法に問題があり、耐震要素としては使用すべきでないを考える。

3・2・3 ラーメン構造の被害

建物の機能上、あるいは意匠上、筋違が配置されない場合では、H 形鋼柱の弱軸方向の水平耐力が不足しがちである。そのため、日の字型の柱断面を作って、耐力不足を補う場合があるが、どうしても柱・はり接合が複雑となって、丁寧な設計がなされていないと局部座屈の発生によって、十分な強度、変形能力が発揮されない場合が

* グラビア写真 7 ～ 12 を参照

多い。いったん接合部で損傷が生ずると、損傷がますます集中する場合もあり、ある階だけが大きな被害をうける結果になって、他の階の部材のもっている強度、変形能を十分活用できない結果となる。

3・2・4 柱脚の被害

柱脚は、かんじんの足許で、非常に重要な構造要素でありながら異種の構造の接点となるため、一番、研究の遅れている所である。また、力学的にも複雑な現象が生ずる所である。被害の状況を分類すると、ベースプレート下部の鉄筋コンクリート柱型の断面が十分でないために破壊した場合のほか、アンカーボルトのめけ出し、ねじ部の降伏変形、ベースプレートの曲げ変形による柱脚固定度の低下、ピン柱脚として設計されたにも拘らず、十分な回転変形ができずに生じたアンカーボルトねじ部

の破断である。これらの対策は、すなわち、今後の研究課題であるが、また一方で、最も施工不良の発生しやすい個所であり、その対策も含めた新しい柱脚の設計法を作り出さねばならない。

3・2・5 仕上材の破損

比較的剛性が小さく、変形量の大きい鉄骨造の仕上材は、変形の追随性が要求される。また、取付方法にも工夫が必要である。そうでないと、ラスモル外壁の破損落下、プレキャスト版の落下が生じ、建物外周に危険を撒きちらすことになる。しかし、仕上材の変形能にも限度はあろうから、中程度の地震によっては、仕上げ材の破損など生じないように、鉄骨骨組の変形を抑制する設計態度を積極的に採用しなければならないだろう。

次号予告(12月号)

研究速報

AC/DC コンバータ回路を使ったソリッド・ステート無効電力補償装置の原理.....	{ 坪原 井 邦 夫 稲 葉 文 雄
ヒドロキシリアパタイトを用いた遠心クロマトグラフィーの研究.....	{ 高神 井 信 治 高 橋 明 夫
異形管のロール成形に関する実験的研究—第7報— —溝形ロールによる角管の形成(4)—	{ 木新 内 学 戸 沢 賢 正 孝
異形管のロール成形に関する実験的研究—第8報— —ボックス形・2ロールによる角管成形(1)—	{ 木新 内 学 戸 沢 賢 正 孝
オージェ電子分光法によるNi-Co合金酸化膜の深さ方向分析.....	{ 本 間 楨 一 石 黒 勝 松 永 正 彦
高分解能超圧電子顕微鏡による金結晶粒界構造の解析(2).....	{ 市 野 英 喜 石 森 洋 一 森 田 一
純鉄の結晶粒界に沿った錫の拡散(II) —マイクロオートラジオグラフィーによる測定—	{ 石 田 洋 斎 藤 秀 一 雄
生産研究・生産報告発行リスト(1978)	

正誤表(10月号)

頁	段	行	種別	正	誤
382	左	↓10	本文	-0.91 (材令7日)	-0.91 m ³ /kg (材令7日)
382	"	↓11	"	-0.73 (材令28日)	-0.73 m ³ /kg (材令28日)
391	"	↑8	"	Rohsenow	Rohsenow
392	右	↓5,6	"	kcal/m ² h	kcal/m ² h °C
398			図面の配置 (ただし、図面の 説明文は正しい)	図 6	図 5
				図 5	図 6

4. 土木構造物の被害

4・1 地盤液状化・土構造物被害

4・1・1 地盤液状化

今回の地震でも、その規模は、新潟地震の場合には及ばなかったが、宮城県各所で、海岸沿いの砂質埋立地（特に仙台港～石巻湾間）、阿武隈川・名取川・江合川・北上川・新北上川・吉田川等の現河川敷・旧河道・堤内地でいわゆる噴砂現象を伴う地盤液状化現象が生じた(図1)．阿武隈川河口右岸・荒浜の砂丘の裏側の国民保養センター敷地内の各所で地震とともに地割れが生じ、水が噴き上げた．一つのプール底は上昇圧によりひびが入り使用不能になった．また、図2に示すように浄化槽が最大40cm 浮上した．噴砂は浮上した側のみに見られた．噴砂域で、二重管式コーン貫入試験を5点で行った．内、3点では、深さ30cm 程度で貫入不能になったが、2点では、図3に示すように、かなり深い所まで貫入抵抗が小さい．これは、噴砂時に、地下に非常にゆるい層が形成されたためと思われる．前述のプールの脇6～7m離れた所に掘られていた排水管の工事用のトレンチ（2m×3m）で、深さ80cm での原位置の単位体積重量を測定した(図4)．これによると、原位置の相対密度は30～40%前後であり、かなり緩い状態にあることを示している．このトレンチで地下水位は1.45m、付近のマノホールで1.1mであった．これらのデータを用いて、簡単な液状化解析をする³⁾．液状化抵抗力は、 $D_r = 35\%$ とすると、次式で推定できる．

$$R = 0.0042 \cdot D_r = 0.0042 \times 35 \approx 0.15 \quad (1)$$

最大地表加速度を α_{smax} ガルとすると地震動荷重 L は、

$$L = \alpha_{smax} \cdot \sigma_v \cdot r_d / g / \sigma_v \quad (2)$$

ここで、 $r_d = 1.95 \text{ t/m}^3$ 、 $r_d = 1 - 0.015 z$ とすると、深さ $z = 2 \sim 5 \text{ m}$ で、 $R=L$ となるような α_{smax} は $100 \sim 125$ ガルとなる．この地点では、これ以上の地震動はあったであろうから、この解析結果は事実と矛盾しない．また、明治以降44の地震における地震液状化現象を調べた結果⁴⁾によると、 M が6以上に対して液状化が生ずる限界の震央距離 R (km) は、次式で求められる．

$$\log_{10} R = 0.77 M - 3.6 \quad (M > 6) \quad (3)$$

今回の地震では、 $M = 7.4$ であるから、 $R = 125 \text{ km}$ となる．荒浜はだいたい $R = 110 \text{ km}$ であるから、(3)式は、今回の場合にもあてはまることが分った．保養センターのすぐ近くの潟湖である鳥の海周辺のコンクリート製護

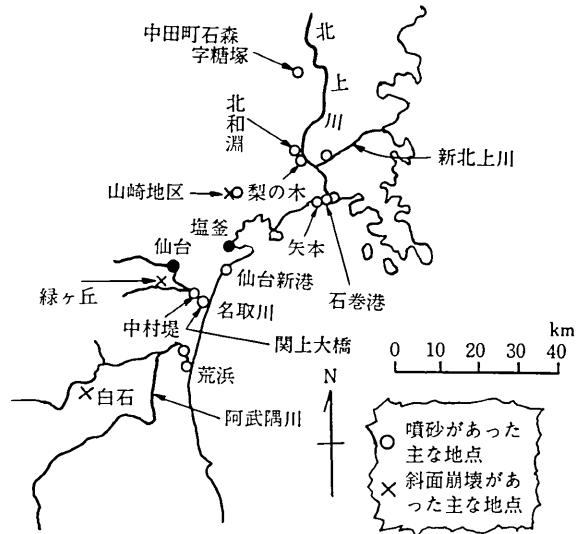


図1 位置図

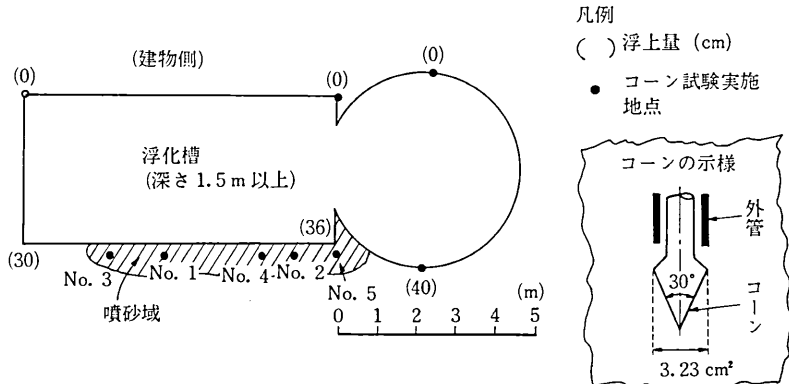


図2 荒浜における浄化槽の浮上

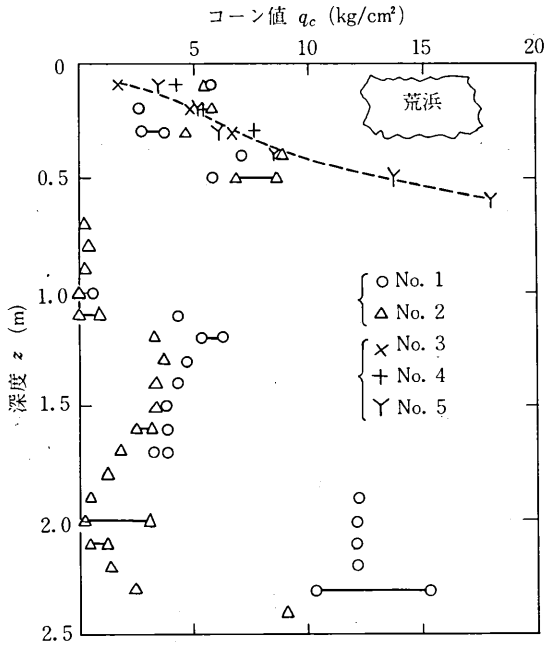


図3 浄化槽脇におけるサウンディング結果

岸が各所ではみ出し、護岸裏の道路が沈下していた（最大2m）。最大の沈下が生じた所では、護岸のすぐ裏、海と反対側の道路沿いの引張クラック、その周辺の地面に少量の細砂を噴出していた。したがって、液状化現象がこの護岸のすべり出しに関与していたかも知れない。

名取川河口1.5km上流の関上大橋の右岸側の橋脚の周辺の堤外地には、地割れが何本も生じ、そこから相当量の噴砂が見られた。しかし、堤防は無被害であった。RC橋脚には水平クラックが見られたが、これがどのように液状化現象と結びついていたのかは、必ずしもはっきりとはしない。噴砂のない左岸側の橋脚に、より大きなクラックが生じているからである。ちょうど、噴砂のあった右岸に一番近い橋脚周辺を図5のようにウェルポイントを用いて掘り下げていたので、ここでも荒浜と同様な方法で現場単位体積重量を求めることができた。ここでも、相対密度はかなり小さい。橋梁の建設前の地盤調査結果によると、この中砂層の下は厚さ3m前後の砂礫層であり、その下はN値30~40のよく締った細砂層であるので、液状化した層は、ゆるい中砂層と考えるべきであろう。Dr = 37%、地下水位2mとして、深さ3mの砂

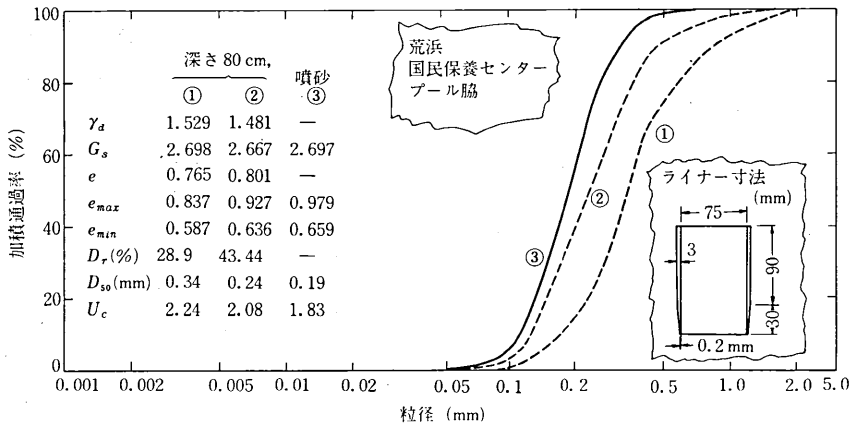


図4 荒浜における液状化した砂の分布

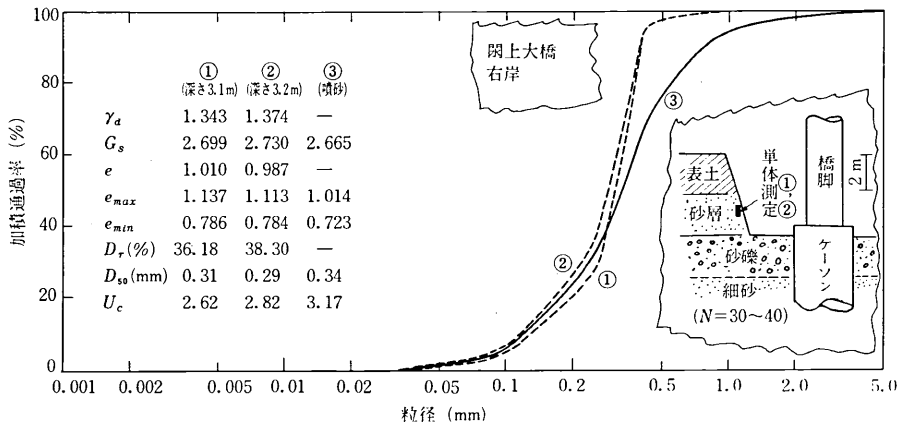


図5 名取川河口右岸で液状化した砂の粒度分布

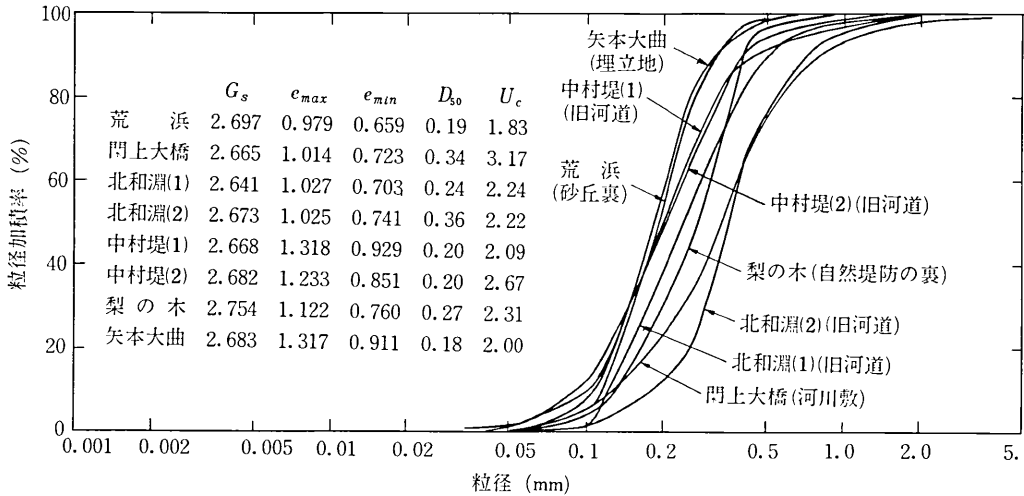


図6 噴砂の粒度分布

層が液状化するのに必要な $\alpha_{s,max}$ を荒浜に対して用いた方法で求めると、130ガルになる。この場所でも、これ以上の $\alpha_{s,max}$ はあったものと思われるから、解析結果は事実と矛盾しない。

図6は、各所で得られた地上に噴出した砂の粒度分布を示したものである。 D_{50} は0.2~0.4 mm程度で、 U_c が小さい中砂である。新潟地震で液状化した砂と良く似た粒度分布である。その他、液状化現象は各所で生じたが、土木構造物の被害と直接結びついていると思われるのは名取川河口から2.2 kmの右岸堤のすべり、石巻港の埋立地の護岸のすべり出しており、その他は、被害を生じせしめていないと思われる。

4・1・2 土構造物の被害

仙台市緑ヶ丘で、沢に火山性ローム土を盛土した宅造地がすべり出し、その上に載っていた住宅が、足元を開かされるような強制変位によって、かなりひどい被害を

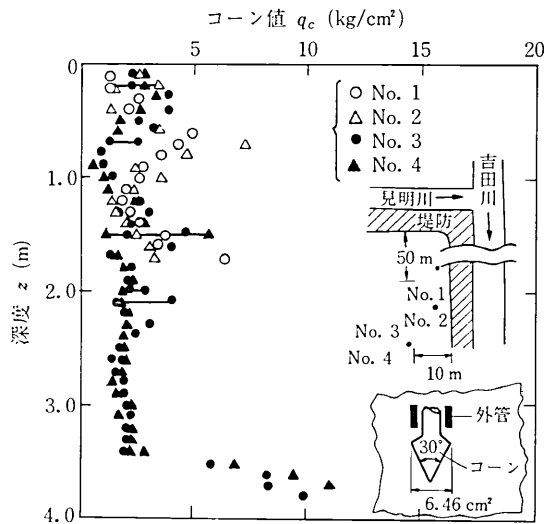


図7 吉田川山崎堤のコーン値

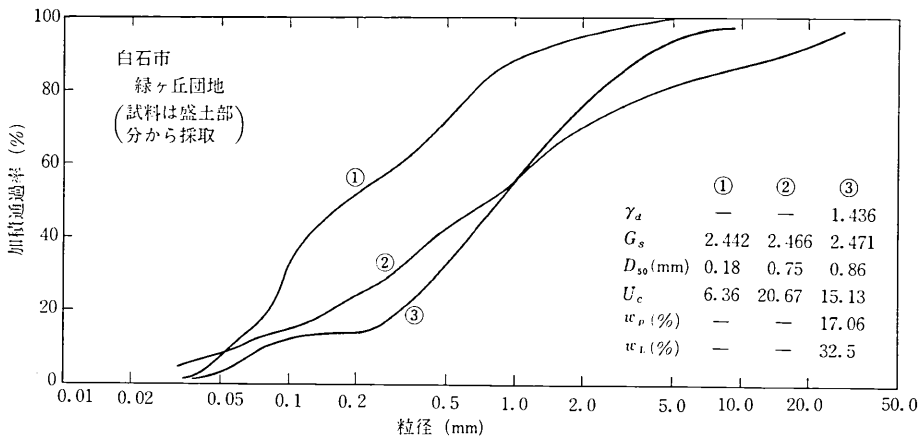


図8 白石市緑ヶ丘団地盛土材料の粒度分布

受けた。すべりの外にある家屋は、ほとんど無被害であった。この沢にある砂防ダムの一部も、おそらく背面の盛土内のすべりによって、50 cm 程度はらみ出していた。

新北上川左岸の牧野渠地区の堤防は延長約 4 km に亘って、基礎地盤内・堤体内のすべりに起因すると思われる沈下が生じた。右岸堤の被害は微小である。その差の原因は、左岸堤は、旧河道の軟弱な地盤上にあるためと思われる。

吉田川山崎地区の右岸堤の延長約 5 km に亘る沈下(最大 2 m)も、堤防の安定性が基礎地盤の強度に強く依存

することを示した例である。図 7 にコーン貫入試験の結果を示す。深さ 3.5 m まできわめて軟弱である。

白石市緑ヶ丘の宅造地では、かなりの規模のすべりが盛土部分に生じた。すべりが流動的であったことが特徴的である。この盛土は、切土部分から出た蔵王の噴出物であるロームとスコリヤを沢に盛り立てたものと思われる。図 8 に示すように、 G_s (比重) が小さく、かつ、粒度が良いことが、このことを示している。この沢の中には、元は池があった模様である。この土は、水をふくむときわめて軟弱になることが、現地を観察された。

4・2 土木構造物の被害*

この地震によって道路・橋梁・港湾・河川・鉄道・電力等の公共構造物もまた被害をうけた。被害の大部分は一般に宮城県東部の太平洋岸沿いに特に吉田川と北上川に狭まれるいわゆる仙台平野に発生している。その分布は構造物の種類、沖積層、洪積層等の地盤条件に著しい関連があるので一概には言えないが、震央距離 120 ~ 130 km の範囲にはほぼ含まれている。

本年 2 月 20 日、この地震の余震域の稍北方に震源をもつマグニチュード 6.8 の地震が発生し、主に宮城県北部と岩手県南部の地域で、橋梁・道路・鉄道等にかなり大きな被害が出、その対策が始まった矢先に本地震が発生したのであって、震害を検討するに当たって、このことを考慮に入れる必要がある。被害についてはなお調査の段階にある部分もあり、ここでは各構造物の震災状況のごく概略を記述する。

(1) 道 路

道路の被害は主として仙台市の東部から泉市にかけての古川市・多賀城市・仙台平野にみられるが、福島・白石・一関の各市等にも及んでいる。被害の状況は今までの道路震害と同様、路肩の亀裂沈下、歩道の沈下、路面の縦亀裂、沈下、陥没、盛土部の亀裂、沈下、切土部法面の崩壊などである。橋梁取付部、カルバート近接部等の盛土の沈下は広い範囲でいわゆる軟弱地盤区域で随所に発生している。古川市付近では盛土高が 1 ~ 2 m にも拘らず縦亀裂と沈下が生じていたが、基礎地盤の重要性を示すものと考えられる。

(2) 橋 梁

最新の規準に従って耐震設計がなされている橋梁も含めて、今回の地震程、多数の大規模な橋梁が強い地震動を経験した例は少ないように思われる。地震観測によれば最大加速度は地盤上で 200 ガル以上で、橋脚上では 500 ガル以上に達した例もあって、上部構に大きな地震力が作用したことが推定される。最近完成した新飯野川橋、歌津大橋、関上大橋を併せて 15 橋以上の橋梁が被害を蒙った。被害としては、沓部分の破損、桁の移動、上部

* グラビア写真 13 ~ 28 参照

構部材の座屈、破断、橋脚、橋台の傾斜、亀裂等が挙げられる。沓のボルトの切断、桁の沓座からのはずれ、支承両側における横構部材の座屈、RC 橋脚駆体の剪断あるいは曲げによるとみられる水平および斜め亀裂、主鉄筋の座屈、橋脚駆体の傾斜、剪断等はいずれも非常に大きな地震力が作用したことをあらわし、地震観測結果の傾向と合致している。筆者の視察した幾つかの橋梁では、一方向から強い地震力を受けたとみられる形跡があった。北上川に架かる錦桜橋(橋長 575.5 m) ではゲルバー桁部分の吊径間が落橋したが、本橋梁は本年 2 月 20 日の地震によってすでに沓部分に被害を受けていたものである。一方最近架設された北上大橋・開北橋・八木山橋等ではほとんど被害がない。北上川に架かる橋梁が多く使用不能となったため、緊急対策として仮設橋が架設されたが、10 日間程度で完成している。

鉄道橋についても同様な被害が発生している。行人塚高架橋における RC 橋脚頭部の亀裂、破壊、江合川橋梁における RC 橋脚の打継目でのずれ、破損等で、東北新幹線では名取川橋梁における RC 橋脚の亀裂、高架橋では沓座の破壊、ラーメン橋脚の中間梁の亀裂等が発生した。また盛土の亀裂、沈下、線形のくずれ、ホームの崩壊、駅舎屋の倒壊、架線の切断、電柱の傾斜などの被害があり、留置中の数輻の貨車と気動車が脱線した。東北本線では地震発生 2 日後の 14 日全線開通したが、江合川橋梁被災のため 18 日まで単線運転を行った。

(3) 港 湾 ・ 漁 港

石巻港・塩釜港・仙台港、相馬港等が被害を蒙ったが、港湾の被害額の約 90 % を石巻港が占めている。石巻港では岸壁裏込の液状化があって岸壁の前傾、エプロンの亀裂、沈下等が発生し仙台港ではエプロンの沈下、相馬港では鋼矢板岸壁の錨定板部分の沈下があったが岸壁そのものにはほとんど変状はなかった。関上漁港では岸壁が前傾しエプロン部分は亀裂開口し、全体に海側(東の方向)に傾斜し石巻漁港では鋼矢板岸壁で液状化が発生し被災した。全体的にみて港湾関係の被害は軽微であり、また鋼矢板岸壁が重力式岸壁に比較して被害が少なかった。

(4) ダム

地震後3回にわたって行われた建設省の調査によれば、この地震で変状または被害のあったダムは7個で、その内訳は重力ダム2個、ロックフィルダム2個、アースダム3個である。重力ダムはいずれも震央距離190 km以上の点に位置していて、貯水池の一部に濁りが発生した場合(竜生ダム)と地震直後ブロック間の継目から漏水があった場合(遠部ダム)であって、実質的な影響はない。ロックフィルダムについては、漏水量に僅かな変化が生じた場合(皆瀬ダム、震央距離:150 km)と上流法面の湛水位付近で表面石張部分が、堤軸に沿って幅数m長さ約70 mに亘り20 cm程度ずれと沈下を生じた場合(牛野ダム、震央距離:110 km)であり、後者については表層の捨張石部分のみの変状であることが確認されている。アースダムではダム中央部でダム頂部のフェーシングアスファルトに堤軸直交方向にヘクラックが1條発生した場合(孫沢ダム、震央距離:130 km)と堤頂で堤軸に沿って亀裂が発生した2例(蒜但木ダム、震央距離:110 km、蛭沢ダム、震央距離:150 km)がある。蒜但木ダムでは深さ40~60 cm長さ12~13 mの亀裂が堤軸方向に、3~4條の横断亀裂が両岸部に発生したが、漏水量にも影響がないとみられている。蛭沢ダムでは堤頂で堤軸に沿ってほぼ全長に亘り深さ4 m程度の亀裂が発生した。このダムは新潟地震の際にも被災している。ちなみに堤高15 m以上のダムは震央距離130 km以内に約30個、150 km以内に約60個建設されている。溜池等低い土堤については宮城県を中心として百数十個所で変状または被害の報告がある。

(5) 電力設備

水力発電設備については、土留擁壁、取水口等の亀裂、専用道路の落石などの被害が11発電所にあったが支障はなかった。送電設備では鉄塔基礎の擁壁、地割れなど塔周辺の被害があり、地下送電線ではマンホール、側壁に

若干の亀裂があった程度で直接の影響はなかった。火力発電設備については、過熱器等の止め金の破損、管列の乱れなどボイラー関係の被害、屋外開閉所の遮断器、断路器、避雷器類の碍管の破損があった。変電所の被害は主変圧器のブッシング特に超高圧のブッシング、遮断器、アレスターなどの支持碍管の破損が多かった。配電設備の被害は仙台市の東部および南部の埋立地、急斜面の造成地に集中していて、電柱の傾斜、倒壊、切損、電線の断混線、変圧器の傾斜、損傷が発生した。

この事故のため宮城県を中心に約60万戸が停電した。この復旧のため、関連各社の応援の下に日最大4200人の人員を動員し、12日中に約40万戸を復旧し、14日早朝には応急復旧を完了した。

(6) 河川構造物

阿武隈川・名取川・鳴瀬川・北上川の各水系において堤防・護岸・樋管・堰などに被害があったが、主たるものは堤防である。被害範囲は阿武隈川・名取川では河口に近い範囲であるが、吉田川・鳴瀬川・北上川ではそれぞれ大郷町・三本木町・東和町にまで達している。堤防被害の規模の大きい地点は、北上川左岸5.1~10.0 kmの橋浦堤防、吉田川左岸13.4~18.2 kmの山崎堤防、名取川右岸4 km付近の四郎丸堤防、同左岸5 km付近の日辺堤防等である。被害の多くは堤軸に沿った亀裂、開口、沈下、こり出しであり、被害の程度によってランクがあるが、略類似した破壊の形式をとっている。堤防の被害は、旧河道をショートカットした部分、特に軟弱な地盤と密接な関係があると考えられている。阿武隈川河口付近では開口などの特殊堤の被害があり、同河口付近の鳥の海の護岸では前傾と陥没が発生し、樋管周辺の地盤の沈下は隋所で生じている。最近完成した北上大堰では、地震時たまたまゲートを吊り上げていたため、戸当り金物(I型钢、露出)がゲートからの力を受けて変形するという被害があった。

東京大学生産技術研究所報告刊行予告

第27巻 第5号(和文)

村井俊治・前田 紘 著

地球資源衛星MSSデータの幾何学的補正に関する研究

米国のNASAの打上げた地球資源衛星(LANDSAT)に搭載されたマルチスペクトルスキャナ(MSS)により得られた地球に関するデータは、地上の57メートル×79メートルに対応する可視および近赤外線反射スペクトルである。これらのデータは、数値化された形で入手できるが、残念ながら幾何学的補正が施されていない。

本論文は、LANDSATデータを地図座標系に変換する場合に、衛星の高度変化、姿勢計測値、スキャンミラーの速度変化などのシステムの幾何歪を補正する方法および、地上基準点の選定および座標変換式の設定の最適手法を詳述したものである。本研究の成果によれば、システム補正を行えば、1画素以内の精度を得るには双一次式および10点以下の基準点を用いれば十分であることがわかった。

(1978年11月発行)

5. 産業施設・危険物施設の被害

5・1 産業施設の被害*

5・1・1 はじめに

機械系についての地震被害調査をはじめに行ったのは、1964年の新潟地震についてであり、生産研究の同年10月号⁶⁾にまとめた。その後1968年十勝沖地震⁷⁾、1971年San Fernando地震⁸⁾、昨1977年Romania地震⁹⁾についても同様のことが行われた。今回の宮城県沖地震は産業施設についての地震被害の面からは、上記3地震に匹敵する程度のものであったともいえよう。

生産研究に載った従来のこの面の報告は数ページを使って、観察した事実の記述が主である。被害調査の目的は、いわゆる被損の様式と機構¹⁰⁾を知ることが主体であるので、自然科学で行われる記述という立場からは、このようなやり方は正しい。しかし、現状のようにかなりの知識の集積が行われている場合、そのような1次報告書としてまとめること自体冗長である。一方、1次報告書としては、海外における貯槽類の被害報告¹¹⁾の中に一部引用したような個々の被害の具体的なデータ、たとえば貯槽側壁の変形曲線などを収集することが必要となるが、これはそれぞれの施設の所有者の仕事であり、またそれを発表するかどうか所有者の意志にかかっている。

以上のことを前提にし、本文は著者が6月16日～18日および7月20日～21日の2回現地へ行った際にどのような箇所を調査し、今後の研究課題としてなにかあるか感じた点を記す。なお、一部は、Purdue大学のDr. SchiffがNSFおよびエレベータ協会のための調査を行った結果の討論の内容を含んでいる。

5・1・2 工学的にみた地震動特性

すでに発表されているように、強震計による加速度値は、地表もしくはBFで最大400ガル程度から、仙台・石巻周辺でも小さいところでは200ガル程度であって、地域差はかなり大きいように思える。このことは、家具の転倒・移動、食器・花器などの落下・破損などについての見聞などからもいえるようである。仙台市内での通常の住宅で、花器1個のほか食器若干という例などもある。卸町付近の建築物の被害分布が、基盤の傾斜が急なところであるとの説明もあるが、北東部の丘陵上の住宅地の塀などの被害にしても、傾斜の急なところから、2～300mの区域にかけてのように見られた。また、他の見方をすると被害分布が南北の直線状にあるようにもみえ、いずれにしても、いわゆる局地震度の問題が重要であり、今後の設計震度(加速度)の決定にこのように大

きな値の差をどのように組み込むが問題であることを明らかにした。

この地震の長周期地動の周期については、いまだ詳しいデータが得られていないが、スロッシング現象が比較的径の小さいタンク、直径10～15mのものに見られたことから、4sec前後であったらうと推定される。また地上に設置された角型水槽についても、これより周期の短い側のものでいくつかスロッシング現象が見られた模様である。

5・1・3 ライフラインの被害

ガス・水道・電力・電話のうち、ガス関係施設の被害が一般に知られているごとく顕著であるが、著者は電力・電話についての調査を行った。このほか、仙台市北部にあるゴミ焼却工場もかなり被害があった模様であり、外見としても煙突等に損傷が見られた。これら、ライフラインについては、いずれ企業からの正式の報告書が出ると思われるので、ここでは概念的な記述にとどめる。

(1) 電力

仙台周辺の電力網は、仙台東部の東北石油に隣接した新仙台火力発電所(350MW+600MW)と、若干離れた仙台火力発電所(175MW×3)とがあり、これからの幹線は主として北へ伸び、七北田の仙台変電所へ入っている。ここへは南から275kVの幹線ははじめ150kV、60kVなどのいくつかの回線が集中している。一方長町地区には南仙台制御所があり、自所を含め9箇所の変電所を制御している。被害は150kVの気中遮断器を中心にした碍子構造体、変圧器のブッシングおよびアンカの破損等に要約されるが、アレスタ等碍子を主にした構造物でも、それを支持する鋳鉄、アルミ合金鋳物等にも破損が見られた。また変圧器内の過圧上昇防護用の放圧板の破裂が数件あったようである。発電所の被害状況としては新仙台火力はボイラ内の管群と支持構造物の破損および仙台火力の非常用ジゼル冷却水を工業用水から導入する部分の配管部(鋳鉄)の損傷による非常用電源喪失が主要な点である。復旧は比較的早く、変電所関係では大量の復旧資材が搬入されたほか、回路の変更、新設予定の準備機材の流用も行われた。数日で一応の能力は回復している。したがって、全体としては、発電能力とともに負荷側の需要も低下したかたちになったが、一部大口需要家には負荷抑制を依頼する状況になった。大口需要家への供給も16日よりほぼ復旧した。しかし、6月としては高温のため、17日夕のテレビニュースによると百貨店協会が東北電力に対し、負荷抑制を解き冷房できる

* グラビア写真29～33参照

よう申入れたと伝えていた。この時点での2火力の運転状況は、新仙台火力は発電所側にサービスタンクを持たず、東北石油からコンビナートとして直接送油される形態になっていたので、送油の開始の遅れが懸念された。ボイラの復旧後、東北石油側の送油態勢は17日中に整ったが、両者を結ぶパイプライン（重油）の消防当局による検査等もあり、1号機が18日2号機が19日に立上がった。仙台火力は地震当時2号機、3号機が運転中であったが、手動で停止し所外の開閉所設備の損傷などによる所外停電と、前述の屋外用ジールの運転不能のため非常用交流電源の喪失となり、このため2、3号機は直ちには再起動不能となった。一方停止中の1号機は所外システムの復旧を待って起動し、週末の仙台周辺の電力需給緩和に役立った。今回の問題を要約すると、地震被害の波及効果（発電所）、電力機器の同型の共通的な損傷が目立つと同時に、現在の耐震仕様について、いくつかの点につき改善が必要なることを意味する。

（2）電 話

電話関係の設備については、十勝沖地震－1968に際し耐震性強化のための特別委員会が設けられ、かなり積極的な改善策が施されていたが、通話の乱れは他の面から起きた。一つは「呼」の殺到である。もう一つは地震動による送受話器の外れが一部地域の旧形交換機にもたらした障害である。これは本年初めの伊豆大島近海地震などでも見られた現象である。地震動による直接の被害もあったが、通話の乱れをもたらすほどには多くの部分で至ってなく、著者の専門ではない埋設ケーブルが道路橋取付部等の不同沈下で切れたことによるものが多いようであった。

今回の地震被害の特徴は、局内関係についてのみ言えば、第1には交換機を支える架構造を同一室内分を一体としたため、その剛性が建物の剛性より高く、かえって壁面との取付部分が損傷したことが挙げられる。その他の点は、細部について規定していなかったこと、計算手法を単純化したものを採用しているため、実系の挙動が複雑で異なっていることが出て来ず損傷したもの、計算の対象外の損傷などが挙げられる。この中には建屋のジョイント部と施設との関係や非常用電源不動作の問題が含まれている。

5・1・4 タ ン ク 類

タンク類の被害もしくはそこに現れた現象は大きく言って4～5種類が挙げられる。第1は東北石油の漏油の原因となったタンク破損、第2はいくつかの地区で見ら

れたタンクの揺動によるアンカボルト等の損傷、第3は10,000 KLのタンクに見られる高次振動（殻もしくは油面）からと思われる噴油のパターン、第4は不同沈下に起因するタンク上部の座屈、第5は屋上角型タンク等の高加速度による損傷である。以上のうち、第5については藤田助教授が別に調査した。

東北石油の漏油事故の原因調査は現在進行中なので、それには触れないとして、破面付近は写真29のように、底板が下向きに開いている部分が一部で、他の部分は波打ちながら上方へ押し上げられたかたちになっている。いままで観察された例ではいずれも下向きに開いていた。写真にも見られる当金は、場所によっては内側にめくれ上がったたり、引きちぎられたようになっているところもある。また、この付近のタンクでは沈下および若干の横ずれも見られ、その中には僅の漏油のあったものもある。塩釜地区で見られたアンカボルトによる基礎の破損例を写真30に示す。このような破損は全周にわたっており、アンカのフックのため、表面の脱落だけでなく内側にまでV字状の亀裂が入っていることに注意したい。写真31は同地区で基礎の不同沈下のため、座屈した天井板からコーナエッジを示す。頂部の塗装のクラックにも注意されたい。なお、このタンクでは漏油は発生していない。写真32は浮屋根大型タンクの例で、浮屋根周辺に部分的に噴油の跡がみられる。かなり規則正しいもので、このパターンの発生メカニズムは今後の課題の一つである。

枕型タンクについては、軸方向、軸直角方向とも被害がみられた。卸町団地付近ではプロパンタンクが軸方向力でアンカボルトが剪断により変形した。一方建屋上に設置された水槽は軸直角方向力で写真33に示すように、両脚が変形し、両者を結ぶアングルが座屈し、脚固定部が破損した。これらは従来の枕型タンクの固定計算を再検討する必要があることを示している。

5・1・5 あ と が き

このほか、大昭和パルプ（岩沼）その他の調査結果など省略したことも多い。詳細は別途報告の予定である。なにぶん非常に短いページ数なので十分意をつくしていないで、誤解される恐れもあり関連の方々にご迷惑がからぬよう望んでいる。本報告の調査は著者が、タンク類は消防庁防災診断委員会、神奈川県高圧ガス施設耐震性判定基準委員会、電話関係は電電公社通信技術委員会建設部会の活動の一環として、また電力関係施設は主として東北電力土木部のご好意により調査した。関係の方々に厚くお礼申し上げます。

5・2 危険物施設等の被害*

5・2・1 石油タンクの破損と石油の流出

東北石油仙台製油所において、同一ヤード内にある容量 31,500 KLの重油タンク 2基と容量 23,700 KLの軽油タンク 1基の底部が破断し、3基の貯蔵油 68,200 KLの全量が流出するという大きな被害が発生した。タンクからの流出油はたちまち防油堤(高さ 1.2 m)からあふれ出し、防止堤(高さ 0.6 m)内に流出した。しかし、防止堤も完全には機能せず、油の一部は側溝を伝わって防止堤外に流出し、堤内の油も地中に浸透し、排水口を伝わってガードベースン(最終油水分離槽)へと集まった。ガードベースンに溜った油量はまもなくその容量を越えてしまい、海上に流出した。海上流出は地震発生から約 50 分経過した時点であった。以上が石油流出の概略である。

仙台製油所には全部で 70 基の屋外タンクが設置されていたが、被害のあったタンクを表 1 にまとめておく。この内、特に問題の 3 基 T-217, 218, 224 については、その構造仕様を表 2 に示す。また、図 9 は被害の集中した C-4 タンクヤード周辺の略図である。

T-217 のタンクについては、調査時に接近することができたので、破断箇所が側板とアニュラープレートの溶接部であることを確認することができた(写真 36)。重油の急激な流出により負圧が発生し、屋根および側板上部は座屈しており(写真 34)、流出した重油の圧力によりコンクリートリングは切断され、付属配管も破損していた(写真 35)。盛砂はほぼ半円周にわたって押し流されていたが、この区間のすべてが破断していたのではなく、側板についた重油の跡(写真 34)からもわかるように、この区間で断続的に破断が生じていた。また、こ

の区間では、アニュラープレートの破断箇所が鉛直方向に 14 cm 程度のくい違いが生じており、側板の方が下にずれていた。このことはタンクの傾斜を意味するものと思われるが、これが破断による結果なのかどうかは不明である。T-218, 224 については直接確認はしていないが、破断箇所はやはり側板とアニュラープレートの溶接部であると報告されている。図 9 には、これら 3 基の破断部分の概略位置を示しておいたが、T-218, 224 の 2 基は同様な位置に破断が生じている。

防油堤の被害は、C-4 のヤードにはなく、他のヤード(B-4)で開口部が 10 cm 程度の破損が見られた。しかし、全般的には、防油堤の被害は軽微であったといえる。

今回の地震被害で注目されることは、同一ヤードに被害が集中したことである。1 つのヤードには、その構造、建造時期、施工者を同じくするタンクが複数基設置されているのが普通である。このことは、1 つのヤード内で複数基のタンクが破損する確率は 1 基の破損する確率に比べ、さほど少なくはないことを意味し、今回のような被害は懸念されていたことでもあった。ここで、この問題に関連して、表 1 の覚知時期について説明しておく。T-221, 131, 121 の覚知時期が地震発生より 2 日後になっているのは、6 月 14 日夜の余震後の点検で覚知されたためである。これらのタンクの被害はすでに本震の際に生じていたものかも知れないが、関係者の意見では、T-221, 131 のタンクについては、この余震により発生した可能性が強いとのことである。すなわち、C-4 のヤードは地震直後には油で一杯の状態であったが、T-224 の貯蔵油の色は流出油の色と異なっており、その時点で漏

表 1 東北石油仙台製油所のタンク被害一覧表

呼称番号	完成検査年月日	油種	容量(KL)	地震時の貯蔵量(KL)	スロッシングの 1 次周期(s)	被害状況	覚知時期
T-217	47.11.8	重油	31,500	26,800	7.25	底部破断, 全量流出	地震直後
T-218	47.12.18	軽油	31,500	23,800	7.39	底部破断, 全量流出	地震直後
T-224	48.1.25	減圧軽油	23,700	17,600	6.74	底部破断, 全量流出	地震直後
T-221	48.1.25	減圧軽油	23,700	20,026	6.63	底部破損, 漏洩	6月14日22時
T-131	47.8.15	灯油	31,500	30,200	7.13	底部損傷, にじむ程度	6月14日22時
T-121	47.7.10	ガソリン	11,200	9,880	5.77	側板上部変形	6月14日22時

表 2 底部破断タンクの構造仕様

呼称番号	内径(m)	高さ(m)	側面(mm)		底板(mm)	アニュラープレート	基礎
			最下段	最上段			
T-217	43.588	21.855	19 (HT 60)	8 (SS 41)	9 (SS 41)	9 (HT 60)	圧密砂抗工法
T-218	43.588	21.855	19 (HT 60)	8 (SS 41)	9 (SS 41)	9 (HT 60)	〃
T-224	37.776	21.855	16 (HT 60)	8 (SS 41)	8 (SS 41)	8 (HT 60)	〃

* グラビア写真 34~38 参照

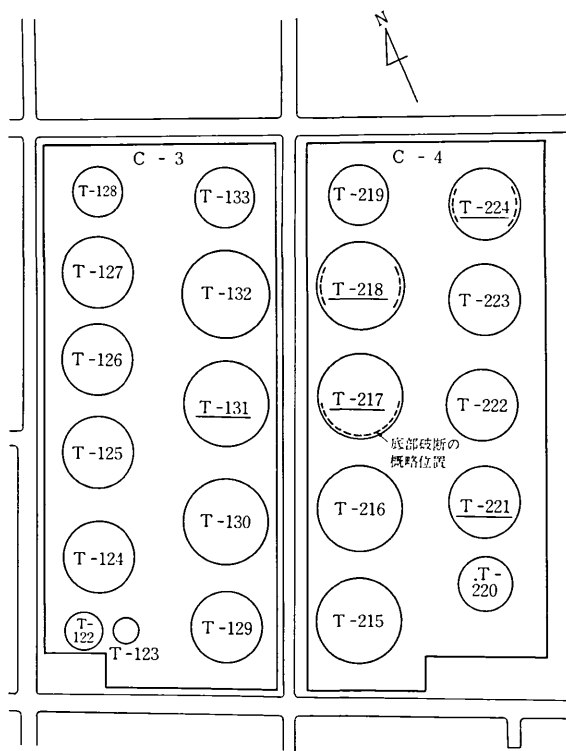


図9 被害の集中したタンクヤードの概略図

洩しておれば覚知し得たであろうとのことであり、T-131のタンクについても、隣接のタンクであったことから、地震後に相当注意深く点検したが、その時点では発見できなかったとのことである。もし、これらのタンクの破損が、本震により生長したクラックが余震により貫通したことによるものであるならば、他の漏洩していないタンクについても、その潜在的な損傷は、今後の使用を不可能にするものかも知れない。現在、C-4地区のタンクは使用中止の措置が取られており、非破壊検査がなされることになっているので、後日、これらの点については明らかになると思われる。

石油タンクに関する安全基準は、昭和39年6月の新潟地震後に、さらには昭和49年12月の三菱石油水島製油所の流出事故後に強化され、昭和50年12月には石油コンビナート防災法が制定され、昭和51年5月には消防法がより厳しく改正された。改正消防法では、防油堤の容量を堤内最大タンク容量の110%以上としているが、地震の場合には上述のように複数タンクの破損する可能性が大きく、この基準は平常時のための対策と考えるべきであろう。また、石油コンビナート防災法では、全部のタンクヤードを囲むように防油堤を設けることを義務づけており、東北石油の場合にも防油堤は完成していた。しかし、前述の通り、この場合には十分に機能せず、油は側溝を

伝わって堤外に流出した。今回の被害により、防油堤は決して過剰対策でないことが認識されたのではないかとされる。さらに、防油堤に溜った油の地中への浸透を防止あるいは遅延させるために、アスファルトを敷設するなどの措置が必要であろう。最後に、最も重要なタンクの構造強度の問題であるが、改正消防法では耐震を考へて構造基準が強化されている。しかし、既設のタンクには適用されていないため、今回の被害により、この基準を直接うんぬんすることはできないが、タンクの構造強度基準への反映は、今後の詳細な調査に待たねばならない。

5・2・2 低圧有水ガスホルダーの破壊と火災

仙台市ガス局原町供給所の低圧有水ガスホルダー（容量17000 m³、高さ27 m、直径38 m）の最上段円筒が完全に二つに割れ、その際の摩擦が原因と思われるが、ガスに着火して火災となった（写真37）。火災は爆発のような激しいものではなかったとのことであるが、隣接の球形ガスホルダーの塗料がまったく変色していないことからもうなずける。このホルダーは、製造プラントで作ったガスを一時的に貯えて、圧送ポンプにより隣接の球形ホルダーに圧送するためのもので、地震当時、約14000 m³のガスを貯蔵していた。

このホルダーは昭和32年に建造されたもので相当に古く、リベット構造である。その構造は3段の円筒から成り、ガイドの支柱が最下段の円筒の側壁に取り付けられていた。この無理な構造が破壊の最大の原因と思われる。

5・2・3 薬品による火災

東北大学理学部化学棟（鉄筋コンクリート8階建）の4階と7階で（写真38）、また東北薬科大学（鉄筋コンクリート5階建）の4階で、実験台や薬品棚から落下した薬品の反応により火災が発生した。

東北大学での建物の応答は1次モードの共振に近いものであり、高層階と低層階の床応答加速度の差が明瞭に棚などの転倒の差に表れていた。薬品棚には落下防止のための簡単な措置のなされていたものもあり、それなりの効果は見られたが、薬品棚自体が床や壁面に固定されていない場合が多く、上層階では薬品棚がほとんど転倒していたことから、棚自体の転倒防止がなければ地震に対しては意味のないことになる。（ただし、その場合には、より大きな加速度が棚に働くため、棚からの落下防止もより堅固なものが必要となる。）

これに関連して、今回の地震では、建物自体の被害は免れた場合でも、その床応答が過大であったため建築設備、とりわけ、高架水槽の被害が非常に多かったことを付記しておく。

6. 福島県における被害の概要*

人的被害および住家の被害の総計を表3に示し、その分布を福島県を5分割した区域別に振り分けると図10のようになる。図10に、主な断層・破砕帯・撓曲などの地質構造を示す。被害の大半は、福島市および相馬市を

中心とする福島県北東部に集中している。なお、全壊した住家はすべて古い木造家屋であった。公共土木施設では、相馬市近郊(図10に点線で囲む)の港湾の被害が主なものであった。

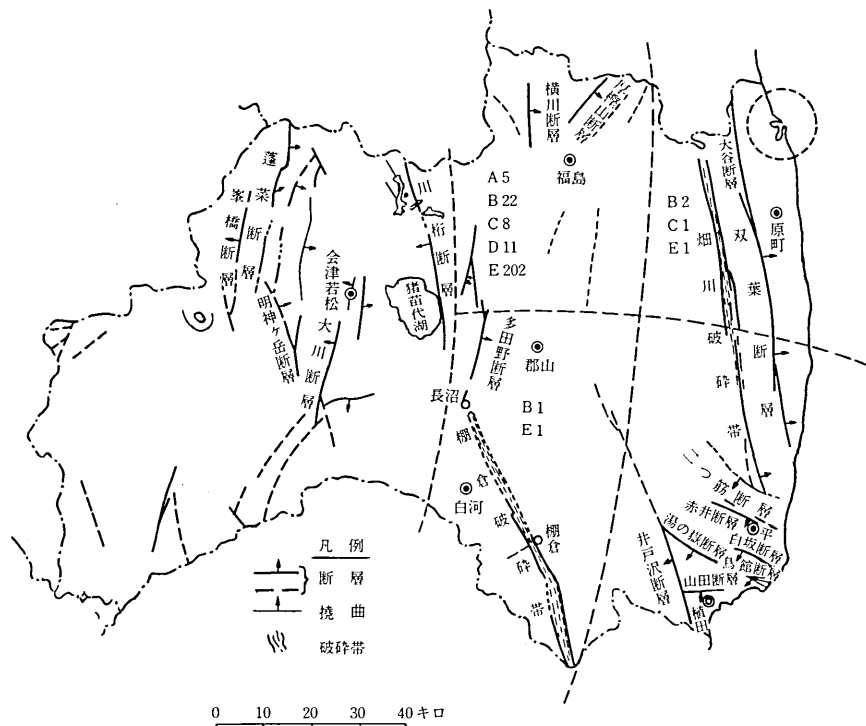


図10 被害分布と地質構造(地質構造は文献12)より再録)

表3 被害総数(6月13日3時現在)

項目		総数	符号	
人的被害	死者	0		
	行方不明者	0		
	負傷者	重傷	5	A
		軽傷	25	B
住家被害	全壊	9	C	
	半壊	11	D	
	一部破壊	204	E	

6・1 学校建築物の被害

被害件数の総数は146件で、各地区の占める割合は図11のように分布しているが、構造体の受けた被害は県北東部に集中している一方、非構造体の損害は全地域にわたっている。被害の内容を表4に示す。

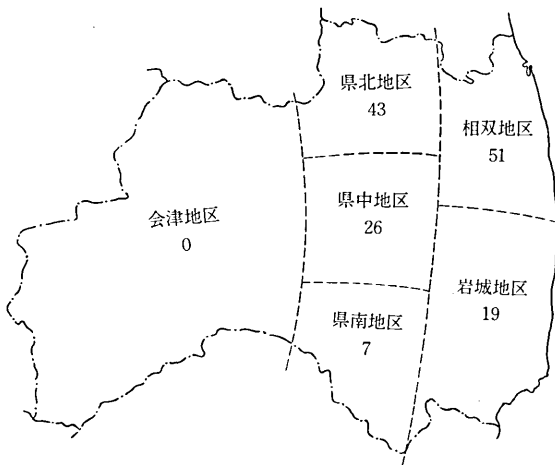


図11 学校建築物の地域別被害件数

* グラビア写真39～42参照

表4 福島県地域別・小中高別学校被害内容

地方名	県北地方			県中地方			県南地方			相双地方			岩城地方		
	小	中	高	小	中	高	小	中	高	小	中	高	小	中	高
壁その他の亀裂	10	5	8	3	1	4	3	2		15	6	4	2	1	3
中廊下沈下					1								1		1
蛍光灯落下					1								1		
瓦落下	2	1							1				1		
がけ崩れ				1	1								1		
校庭等亀裂															
塀の倒壊															
ガラス破損		2		1		2				5	3	3	2		2
ガラス器具破損						5				2	2	1	2	1	
窓シャッターのゆがみ				1		1				1					1
石符像等				1		2	1	1				1			
天井板の破損	1	1		1						1					
設備機器の破損	5	2	6			1				2	2	2			

6・2 福島県西庁舎の被害

福島県庁舎は、RC5階建の本庁舎と渡り廊下で接続された西庁舎からなっている。西庁舎は地下2階、地上12階、3階のペントハウスからなり、B2～3.5階までSRC、3.5階以上はS造である(昭和44年着工、46年に竣工)。建物本体には、部分的にキレツが生じたがほぼ無被害と見てよい。11階にある電子計算機課のフリーアクセス床の約20台のコンピューターおよび磁気装置が室内を移動し、窓ガラスを割り、機器の衝突、転倒によりシステムの機能が停止した(倒れたり傾いたりした機器はコンソール・デスク2台、磁気テープ装置9台、OMR、テレタイプライター各1台、および磁気テープ、キャビネット)。隣の部屋にある電話機室は、上下が固定してあり無被害であったことを考えると、定着部の重要性が指摘される。

西庁舎における他の被害としては、ペントハウスに設置してあった給水用タンク(20t 2基、12t 1基)がFRP側壁と配管との接合部の破壊によって水が流出し、階段およびエレベーターの機能を停止した。10階にある鑑識課の精密機器および化学薬品用ビンが破損している。西庁舎の窓ガラス20数枚および一部分で天井板の剥落などの被害があった。

6・3 港湾の被害

相馬港第一埠頭、松川浦漁港岸壁および磯部港岸壁にキレツおよび段差が生じた。第一埠頭の野積場は砂地の上に碎石を敷き、その上に5m×5.2m×25cmのコンクリート舗装板を敷きつめたもので総面積約36000m²で埠頭の中央部に港湾上屋を有する(図12)。今回の地震により埠頭の長手方向に沿って4個所に被害を生じた。第1個所は舗装板中央部(配筋なし)を21枚貫通する最大幅13cmのキレツおよび最大21cmの段差を生じた(写真40)。隣接する配筋を有する舗装板は無被害であった。第2個所は、港湾上屋前のエプロンに最大10cmの沈下を10枚にわたり生じた。第3個所は舗装板継目に最大38cmの段差を5枚にわたり生じ(写真41)、第4個所は舗装板中央に13枚にわたって3cmのキレツを生じた。その他上屋内舗装にも1000m²にわたって最大3cmのキレツが分布し、また、埠頭端部に短手方向舗装板に4cm～8cmのずれを生じた。埠頭の後方にある港湾道路路面が上下に波うっているのが見られた。

以上述べた被害が福島県内における主な被害であり、そのほか、ブロックべい・屋根ガワラ・地下埋設管・窓ガラスなどの被害が散見される。被害調査にあたり、福島県土木部高木孝夫部長ほか、多数の方々にお世話になりました。感謝いたします。

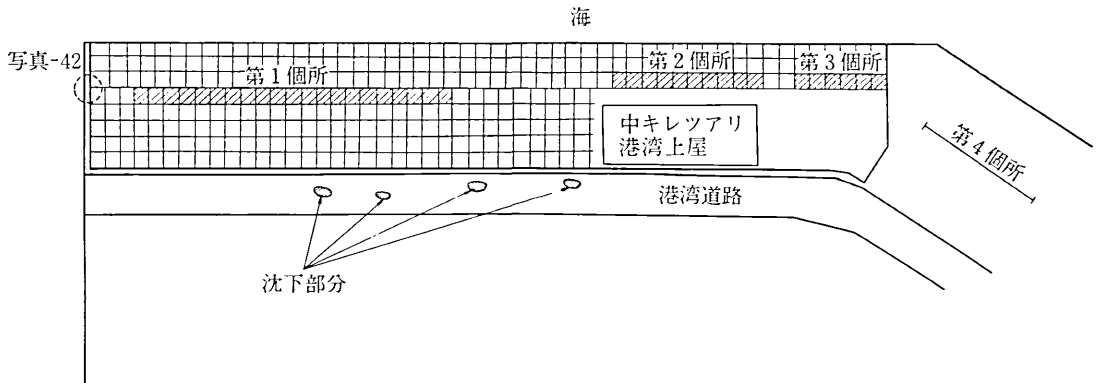


図12 相馬港第一埠頭被害箇所

7. 都市供給施設の被害と復旧

今回の地震の被害域は人口約 65 万の仙台市を含んでいたため、電気・水道・ガス・下水道などの都市供給施設の被害が特に問題となった。地震により住めなくなった全壊住家は仙台市内で 700 戸(全世帯の約 0.37%)で、市民のほとんどが地震直後からはほぼ平常の生活を送れる状態にあったことは今回の地震の 1 つの特徴であった。このような状況で、全市的な停電・ガス供給停止と一部地区での断水が発生し、地震災害に対する都市生活の脆弱さを顕著な形で示す結果となった。

地震直後には、東北電力(株)の宮城・山形・岩手・福島・青森・秋田の 6 支店管内で約 68 万戸が停電した。このうち約 9 割は 12 日中に復旧したが、地震後約 15 時間たった翌 13 日朝の時点で、仙台・石巻・塩釜などで約 8 万の停電戸数が残った。同 13 日夕刻には停電戸数は約 4.9 万戸(うち約 3.5 万戸は仙台市内)に減少し、地震発生後約 38 時間の 14 日午前 6 時 50 分には応急復旧を完了した。仙台市東部や南部の地盤の悪い地区や急傾斜の造成地では電柱・電線・引込線・柱上変圧器などにも相当数の被害が発生したため、一部の家庭ではさらに停電が続いたところもあったが、仙台市を中心とする広範囲な停電と需要家への負荷抑制協力要請を含む供給支障の主な原因は次の 2 点に要約できる。

(1) 東北電力の電力系統は、福島県・新潟県内の変電所から仙台を経て秋田に結ばれる 275 kV の超高圧基幹系統を中心に、154 kV および 66 kV 以下の系統を組み合わせた多重ループ構成となっている。仙台(泉市七北田)および宮城(古川市中新田)の超高圧変電所で碍管類の折損による主要変圧器などの設備被害が発生し、275 kV 基幹系統が古川市から米沢市の間で分断された。

(2) 仙台火力の 1～3 号(各 17.5 万 kW) および新仙台火力の 1 号(35 万 kW)・2 号(60 万 kW)がそれぞれ設備被害を受け発電不能となった。

上記(1)、(2)の被害のため、仙台市内など重要負荷に対する供給を火力電源の 275 kV 系で早期に復旧することは不可能と判断され、隣接 154 kV および 66 kV 系統の連けいによる受電復旧が進められた。この結果、地震後約 8 時間の 13 日午前 1 時 28 分には仙台市内の全配電用変電所の受電を完了した。復旧直後の供給量は平常時の 5 割程度であったと思われる。このため、大口需要家に負荷抑制協力を依頼し、マスコミなどを通じて一般家庭に節電を呼びかけた。14・15 日に仙台変電所の主要変圧器各 1 台の運転が再開され、16 日に仙台火力 1 号、18 日に新仙台火力 1 号がそれぞれ復旧して負荷抑制は段階的に解除された。地震後 11 日間の復旧稼働人員は延べ約 2 万人、日最大 4,200 人、総復旧費は約 32 億円

であった。

仙台市水道局の給水戸数は約 20 万戸、給水人口は約 62 万人(普及率 97.8%)であり、水道施設は 1 日 32 万 t の配水能力を有する。中原(3 万 t)、国見(9 万 t) および茂庭(20 万 t、うち 3 万 t は塩釜市に分水)の 3 浄水場が稼働中であり、すべて自然流下による取水を行っている。取水施設から浄水場までの間の導水施設に機能上の支障は発生しなかったが、各配水池からの送水量の異常増加および市民の通報などにより、配水管にはかなり被害が発生したことが判明した。口径 500 mm 以下の配水管破損箇所は全市で 130 件と報告されており、このうち 111 件は 50～100 mm の小口径管である。広い地域に断水をもたらす大口径配水幹線の被害はなかった。破損箇所の発見および漏水通報に伴い配水管の仕切弁閉止作業が行われた結果、13 日朝の時点で合計約 7,000 戸(全給水戸数の約 3.5%)が市内各所で断水した。破損箇所の修理は 13 日早朝から本格化し、断水戸数は 14 日には約 5,800 戸、15 日には約 800 戸となり、断水は一部の地域をのぞきほとんどが解消した。大部分の地区への配水は自然流下で行われていたが、浄水場で必要とされた急速過用の電力は 3 つの浄水場のいずれでも順調に作動した自家発電装置によりまかなわれた。6 月中に水道局が受け付けた給水管および給水装置の修繕件数 4,000 を上まわった。配水管被害の復旧には延べ 650 人(日最大約 300 人)、給水管・給水装置の修繕には延べ約 1,100 人が動員され、復旧に要した費用は約 1.7 億円と見込まれている。

仙台市の都市ガスは市東部の港工場と中心部の原町工場の 2 個所で製造されていた。このうち、全製造量の 9 割以上をまかなっていた港工場では、3 種類の製造プラントのすべてが地震後の停電により緊急停止した。原町工場では有水式低圧ホルダーの水封が切れて漏水し、ガスに着火して炎上・倒壊した。需要家への供給はホルダー内の保留ガスを用いてしばらく継続されたが、時間がたつにつれ需要家からのガス漏れ通報が相つぎ、その総数は約 200 件にも達した。このため、午後 6 時 15 分仙台市および一部の周辺地区の計 13 万 6 千戸の需要家に対するガスの供給を停止した。

港工場の製造プラント被害は軽微で、点検作業は 16 日午前すべて終了、同日午後から一部で製造開始できる状態となり、17 日には時間当たり製造量でフル稼働できるまでに復旧した。

港工場からの 2 条の主要幹線(中庄 A、口径 300～500 mm) および市内各地区へ供給する地区幹線(中庄 B、口径 150～200 mm)の延長は約 196 km で、このうち 190

km は電気溶接鋼管を採用していた。主要幹線のガス漏れ調査は地震発生の12日中に行われ、フランジ漏れ4箇所以外は健全であることが判明した。13日・14日にわたって地区幹線の点検・修理作業が行われたが、被害箇所は少なく、15日の時点ですべての安全が確認された。

全長1,200 kmをこえる低圧本支管の点検・修理作業は15日から本格的に着手された。各需要家のメーターコックの閉止点検は15日から18日までの4日間で全供給地域について終了している。本支管のガス漏れ個所の検出・修理作業は供給区域を8ブロックに分けて16日から本格的に開始された。需要家数9千戸から2万7千戸の各ブロックに通ずる主要送水管を切断して各ブロックを他の供給区域から切り離し、ガスを圧送して漏えいを検知し、漏えい箇所を修理した。作業の進展につれ、18日以降、旭ヶ丘・黒松・南光台といった新興住宅地域の導管の損傷箇所が予想以上に多く、復旧計画そのものが大きな修正をせまられた。損傷箇所数は、本支管212、供給管(本支管から道路境界まで)143、内管(道路境界から需要家メーターコックまで)178の計533と報告されている。本支管の点検・修理が完了した地区では、空気圧により各需要家の屋内管の漏えいの有無が調査され、供給再開に先だって戸別に燃焼テストが行われた。港工場に近い一部地区の350戸で供給が再開されたのは地震発生以来4日目の16日であった。その後、復旧率が30, 50, 70, 90%をこえたのは6月23日, 24日, 26日, 28日であり、地震発生後28日目の7月9日で復旧率100%となった。この間に動員された人員は延べ約25,000人、日最大約

1,300人で、総被害額は約8.5億円であった。

仙台市の下水道普及率は約59% (約11万世帯)で、下水幹線に接続する11の中継ポンプ場から圧送される1日約26万tの汚水が七北田川の河口付近にある南蒲生下水処理場で処理されている。地震の影響でポンプ場の自家発電装置が正常稼働せず、停電によりポンプ圧送が不可能となった。このため、地震直後から緊急手段として汚水は河川へ自然放流され、各家庭の下水道使用禁止という事態は回避された。設備被害が大きかった郡山ポンプ場(4万t/日)では名取川への自然放流が11日間続いたが、大部分のポンプ場では電力の回復とともにポンプ圧送が再開された。圧送再開に伴い、流入管・圧送管の破損・閉そくが徐々に判明したが、被害箇所を個別に修理することで処理され、地震後約1カ月の時点で、少なくとも表面的には大きな問題もなく下水処理が行われている。しかし、恒久復旧のための被害調査は7月に入ってから開始された状態で、一部テレビカメラによる調査も行われているが、幹線約43 km, 枝線約400 kmにわたる管きよの被害把握と補修方法の検討は今後に残されている。未使用の大口径管きよの踏査によれば、管継目・マンホールとの接合部などにかかりの被害に認められている。下水道の場合、処理場への流入量の30~40%は常時でも地下水流入によるものと言われ、今後は地下水対策とのからみで恒久復旧の方向が検討されるもようである。地震1カ月後の査定では被害額約2億円とされているが、この額は今後かなり大幅に増加すると思われる。(1978年8月31日受理)。

参考文献および資料

- 1) 東大工学部建築学科・東大生産技術研究所・千葉大工学部建築学科 合同調査団：1978年宮城県沖地震による学校建築の被害概況調査報告
- 2) 例えば、岡田恒男：低層鉄筋コンクリート実在建物の耐震性の評価法，コンクリート工学，1975. 12
- 3) 岩崎・龍岡・常田：N値等による飽和砂質土の非排水動的強度推定式の検討，第13回土質工学研究発表会，1977
- 4) Kuribayashi, E., and F. Tatsuoka: Brief Review of Liquefaction during Earthquakes in Japan, Soils and Foundations, Vol. 15, No. 4, Dec. 1975
- 5) 4・2 関係の資料
建設省・東北地方建設局：1978年宮城県沖地震被害の概要
宮城県・宮城県主要県道塩釜亘理線：岡上大橋震害調査報告書
- 建設省・東北地方建設局仙台工事事務所：宮城県沖地震災害記録
- 建設省・東北地方建設局北上川下流工事事務所：宮城県沖地震による堤防等被害カ所図，その他
土木学会耐震工学委員会研究会資料
- 国土開発技術研究センター：ダム耐震設計懇談会資料
国井ほか：1978年宮城県沖地震の基石調査結果，資料
- 6) 機械耐震設計グループ，生産研究，16-10 (昭39-10)，293
- 7) 佐藤，生産研究，20-12 (昭43-12)，632
- 8) 柴田，生産研究，23-8 (昭46-8)，335
- 9) 柴田，生産研究，29-10 (昭52-10)，503
- 10) 柴田，日本機械学会誌，75-643 (昭47-8)，1193
- 11) 柴田，生産研究，26-7 (昭49-7)，259
- 12) 福島県企画開発部：三十万分の一福島県地質図説明書 1968